

ОТЗЫВ официального оппонента

на диссертацию на соискание ученой степени

кандидата географических наук Комарова Антона Юрьевича

на тему: «Пространственно-временная изменчивость снежного покрова в Московском регионе» по специальности 1.6.8 – «Гляциология и криология Земли» (25.00.31 – «Гляциология и криология Земли»)

Диссертационная работа А.Ю. Комарова посвящена актуальной научной и практической проблеме – оценке изменчивости строения и свойств снежного покрова в Московском регионе в зависимости от погодных условий, растительности и микрорельефа поверхности.

В ее основу положены результаты снегомерных и метеорологических наблюдений, выполненных в Москве и Подмосковье в периоды с 2014 по 2021 гг. и с 1960 по 2021 гг., и включающих снегомерные измерения и стратиграфические описания снежной толщи в более чем 300 шурфах и траншеях, наземные и дистанционные (с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) измерения высоты поверхности снежного покрова и наземные измерения его плотности и прочности, а также данные литературных источников для зим 1957/58 и 1961/62 гг.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и 5 приложений. Общий объем работы составляет 198 страниц текста (с приложениями), включающего 60 рисунков и 23 таблицы. Список литературы насчитывает 174 наименования, в том числе 80 на иностранных языках.

Во Введении рассмотрены актуальность, цель и основные задачи работы, ее научная новизна и практическое и научное значение полученных результатов.

В качестве основных задач указаны:

1) анализ данных метеорологических измерений на станциях Московского региона за период с 1960 по 2021 гг.

2) анализ данных натурных измерений параметров снежного покрова в шурфах и траншеях (зимы 2014–2021 гг.) и сравнение полученных результатов с данными литературных источников (зимы 1957/58 и 1961/62 гг.).

3) оценка возможностей восстановления и прогноза строения снежной толщи на основе среднесуточных значений метеорологических параметров;

4) выявление различий в строении снежной толщи, связанных с особенностями растительного покрова и микрорельефа поверхности;

5) оценка возможностей оперативного получения информации о снежном покрове с использованием методов дистанционного зондирования.

Актуальность избранной диссертантом темы не вызывает сомнений, так как она посвящена исследованию пространственно-временной изменчивости строения снежного покрова по данным стратиграфических исследований и оценке влияния погодных и климатических изменений на стратиграфию снежной толщи по данным моделирования на основе полевых измерений и стандартных среднесуточных метеорологических данных.

Объектом исследования диссертационной работы является снежный покров в Московском регионе, а предметом исследования - изменчивость строения и свойств снежного покрова на исследуемой территории. Особое внимание уделено исследованию пространственно-временной изменчивости строения и свойств снежного покрова в зависимости от зимних погодных условий, растительности и микрорельефа поверхности.

В результате полевых измерений получены и обобщены данные о строении снежного покрова рассматриваемого региона и впервые

представлены схемы изменения строения снежной толщи в зимы с различными погодными условиями. Впервые выполнено сравнение стратиграфических разрезов снежной толщи исследуемой территории, описанных в соответствии с различающимися классификациями снега, применявшимися в разные периоды исследований, и приведение их к единым классам для возможности сопоставления и классификации по 13 типам снега по данным стандартных метеорологических наблюдений (средняя суточная температура воздуха, температура на поверхности грунта под снегом, сумма осадков за сутки, средняя суточная скорость ветра, максимальная за сутки высота снежного покрова). С учетом этого дана оценка влияния изменяющихся погодных условий, растительности и микрорельефа поверхности на неоднородность строения и свойств снежной толщи в различных пространственно-временных масштаба и разработаны методика и алгоритм восстановления и прогноза строения снежной толщи на основе данных стандартных метеорологических наблюдений. Впервые на исследуемой территории произведена оценка возможностей определения поверхности снежной толщи методами дистанционного зондирования и выполнены измерения твердости снега с использованием прибора SnowMicroPen.

Полученные данные о строении снежной толщи Московского региона и его пространственно-временной изменчивости хорошо согласуются с результатами исследований отечественных и зарубежных исследователей, выполненных в других регионах с аналогичными климатическими условиями. Достоверность полученных результатов подтверждается публикацией по теме работы 15 научных работ, в том числе 5 статей в рецензируемых российских и зарубежных научных изданиях, определенных п. 2.3 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова.

Результаты работы представлены на 12 тематических всероссийских и международных конференциях в форме 12 устных и 5 стендовых докладов:

В *главе 1* отмечено важное влияние снежного покрова на функционирование природных систем и хозяйственную деятельность человека, включая промышленность, гидроэнергетику, сельское хозяйство, строительство, транспорт, туризм, гидрологический режим рек и водохранилищ и термический режим подстилающих почв и грунтов. Поэтому важное значение приобретает изучение строения снежного покрова и определение и прогноз его водозапаса (водного эквивалента) и устойчивости на крутых склонах.

В *главе 2* приведена характеристика условий снегонакопления и метаморфизма снежной толщи в Московском регионе.

Рассмотрены многолетняя и сезонная изменчивость параметров снежного покрова и описаны основные методы измерений. Обобщены данные снегомерных съемок и стратиграфических описаний снежного покрова, выполненных автором. Показано, что на фоне регистрируемого роста зимней температуры воздуха, увеличения количества жидких осадков, уменьшения количества твердых осадков, выпадающих в зимние месяцы, и сокращения продолжительности залегания устойчивого снежного покрова, в Московском регионе наблюдается увеличение изменчивости зимних погодных условий и параметров снежного покрова за период с середины XX века до современного периода. Наблюдаемые изменения оказывают влияние на характерное строение снежной толщи и свойства снежного покрова.

Установлено, что средняя продолжительность залегания устойчивого снежного покрова в период с 2000 по 2020 гг. стала на 11 дней меньше, чем в период с 1961 по 1990 гг. и снежный покров формировался в среднем на 9 дней позже, а даты с максимальной толщиной снежного покрова наблюдались в среднем на 6 дней раньше, а даты разрушения снежного покрова — на 3 дня раньше, чем в период с 1961 по 1990 гг. В период с 2010

по 2020 гг. в результате более частых и сильных оттепелей доля слоёв таяния-замерзания и ледяных включений в снежной толще в зимы 2014–2019 гг. была в два раза больше, чем в зимы 1957/58 и 1961/62 гг.

В *главе 3* Рассмотрено влияние растительного покрова и микрорельефа поверхности снежного покрова на строение и свойства снежной толщи. Представлены результаты определения высоты снежного покрова с использованием методов дистанционного зондирования. Установлено, что сочетание местных условий погоды, растительного покрова и микрорельефа поверхности определяет неоднородность строения и свойств снежной толщи в масштабах первых метров, десятков метров и десятков и сотен километров, что необходимо учитывать при моделировании и оценке пространственной изменчивости водозапаса и теплофизических свойств снежной толщи даже на участках с однородной растительностью и микрорельефом поверхности.

В *главе 4* представлен разработанный автором алгоритм восстановления и прогноза строения снежного покрова на основе данных метеорологических наблюдений. На основе имеющихся стратиграфических описаний шурфов произведена верификация алгоритма для разных климатических условий. Произведено сравнение строения снежного покрова в середине XX и начале XXI века. Результаты применения предложенного алгоритма позволили установить, что условия снегонакопления и строение снежного покрова в середине XX века и в первой половине XXI века значительно отличались. Разработанный алгоритм позволяет прогнозировать потенциальные изменения в строении снежной толщи, связанные с изменениями зимних погодных условий. При увеличении средней суточной температуры воздуха на 1°C доля слоёв таяния-замерзания в толще может увеличиться более чем в 2 раза.

Работа базируется на достаточном числе исходных данных, примеров и расчетов. Она написана доходчиво, грамотно и аккуратно оформлена. По каждой главе и работе в целом сделаны четкие выводы. Содержание работы соответствует цели работы и предмету защиты, раскрывает сущность и

обоснованность защищаемых положений. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

По работе имеется ряд замечаний.

1. Во введении сказано: «...поскольку строение снежной толщи в период с максимальной высотой снежного покрова является результатом процессов, протекание и интенсивность которых зависит от зимних погодных условий и их последовательности, оно может рассматриваться как интегральная характеристика погодных условий соответствующего зимнего сезона.» Однако это не взаимно-однозначное соответствие. Однако на с. 78 отмечается «... в зимы с одинаковыми средними значениями метеорологических параметров строение снежного покрова может значительно отличаться, а в зимы с различающимися значениями этих параметров — быть похожим»

2. Осреднение стратиграфии снежной толщи за разные небольшие периоды не вполне убедительны. Например, зимы 1957/58 и 1961 /62 гг. покрывают период 5 лет, как и зимы 2014/15 и 2018/19 гг., но среднее строение снежной толщи в эти зимы отличаются незначительно: слои таяния-замерзания занимали в среднем около 9 и 15%, осевшего снега — около 32 и 30 % и оградённых – около 60 и 57%; более явным показателем суровости климата в эти годы является толщина слоев глубинной изморози (рис. 2.3.11).

3. В работе для определения твердости снега применялся прибор SnowMicroPen. Следовало бы дать соответствие значениям твердости снега по прибору SnowMicroPen хотя бы ручному индексу твердости (лучше дать соответствие измерениям с применением зонда Хефели из международной классификации снега). Так как величина твердости снега по прибору SnowMicroPen в 500-1000 раз меньше значения твердости по ручному индексу или по зонду Хефели.

4. При моделировании стратиграфии снежной толщи за основу начала развития кристаллов глубинной изморози принят температурный градиент в толще $25\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$. У разных авторов значения этого параметра разные. Ссылки на одну работу 1974 г. недостаточно. Надо обосновать выбор $25\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$ и временной фактор. Например, что будет, если принять градиент $20\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$, но в течение 15 дней, а не 10 дней как при $25\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$?

5. При моделировании стратиграфии снежной толщи не понятно, как оценивается глубина проникновения талой воды при оттепели (для оценки фирнизации слоя снега), т.к. водоудерживающая способность слоев снега не рассматривается.

6. В шурфах и траншеях автором измерялась плотность снега (послойно или интегрально по всей толще?). Было бы логично использовать эти, а не только среднесуточные метеоданные для оценки типов снега при моделировании строения снежной толщи. Было бы также полезно сравнить данные измерений и моделирования типов снега с учетом и без учета данных о плотности слоев снега, а данные по плотности снега использовать для оценки водозапаса (водного эквивалента) снежного покрова.

7. В защищаемых положениях (п. 4) говорится о высоте (толщине) снега запасах воды в снеге и их пространственной неоднородности, но данные о запасах воды в снеге в работе не приводятся. Было бы интересно сравнить их с тем, что давали бы данные моделирования, которые, в свою очередь, было бы полезно и важно сравнить с данными моделирования с применением моделей других авторов (Табл. 4.1.1), например, SNOWPACK.

8. Одной из задач работы (п.5) была оценка возможностей оперативного получения информации о снежном покрове с использованием методов дистанционного зондирования. Отмечается только возможность использования БПЛА для измерения высоты поверхности снежного покрова, но ничего не говорится о современных возможностях других современных

дистанционных (космических, воздушных и наземных радиолокационных) методов для определения толщины, водозапаса и строения снежного покрова и условий на его подошве и возможностях их применения в локальных и региональных исследованиях. Это создает обманчивое впечатление об ограниченном научном багаже и потенциале автора диссертационной работы, если ограничиться только сказанным:

«...возможности оперативного определения строения и плотности снежной толщи дистанционными методами остаются ограниченными (стр. 4);

«... в последние десятилетия активно развиваются методы дистанционного зондирования снежного покрова, а результаты полевых исследований используются для верификации результатов зондирования и моделей снежного покрова, включаемых в глобальные климатические модели» (стр. 20);

«Применение методов спутниковой съёмки позволяет следить за изменением площади распространения снежного покрова в глобальном масштабе, однако, на современном этапе развития технологий, определение запасов воды в снеге на определённой территории на основе данных спутникового зондирования напрямую невозможно и включает модельную составляющую, важными параметрами которой являются микроструктура и строение снежного покрова (*Kaempfer et al., 2007*). Без учёта строения снежного покрова спутниковая съёмка позволяет получить лишь достаточно точные глобальные данные о периодах таяния/замерзания (*Bartsch et al., 2007*). Эти ограничения связаны с тем, что наличие талой воды в снежной толще блокирует проникновение сигнала радара сквозь толщу, и не позволяют получить достоверные оценки запасов воды в снежном покрове, часто подвергающемся воздействию оттепелей» (стр. 22).

Тем не менее, имеется ряд публикаций, свидетельствующих о возможности и перспективности применения данных съёмок с космических аппаратов в видимом и микроволновом диапазоне для классификации, оценки толщины и водного эквивалента снежного покрова (*Dozier, Marks, 1987; Lievens et al.,*

2020, 2021; Patil et al., 2020; Chang, Hall, 1987) и применения наземных и воздушных радиолокационных методов для определения толщины, строения и водного эквивалента снежного покрова (Braford et al, 2009; Godio, 2009; Di Paolo et al., 2016. 2020; Василевич, Чернов, 2018; Чернов, Муравьев, 2021).

9. Используемый автором термин «высота снежного покрова имеет двойное значение: высота и толщина снежного покрова, но надо иметь в виду, что они измеряются разными методами.

Отмеченные недостатки не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации.

Диссертационная работа А.Ю. Комарова «Пространственно-временная изменчивость снежного покрова в Московском регионе», является законченной научно-квалификационной работой, содержащей новое решение актуальной научной задачи оценке пространственно-временной изменчивости снежного покрова и разработке методики восстановления и прогноза строения снежного покрова на основе данных метеорологических наблюдений, имеющей существенное значение для гляциологии и криологии Земли.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.6.8 – «Гляциология и криология Земли» (25.00.31 – «Гляциология и криология Земли») (по географическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. Таким образом, соискатель Комаров Антон Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.8 – «Гляциология и криология Земли» (25.00.31 – «Гляциология и криология Земли»).

Официальный оппонент:

Мачерет Юрий Яковлевич

доктор географических наук,

ведущий научный сотрудник

отдела гляциологии

Института географии

Российской академии наук

Контактные данные:

Раб. тел.: 8-499-125-90-11,

e-mail:macheret2011@yandex.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом

защищена диссертация:

11.00.07.Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

Адрес места работы:

119017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 29.

Подпись руки тов. Мачерета Ю.
заверяю

Зав. канцелярией Яре
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт географии
Российской академии наук

